

E5847

## Claims Description

**Particle monitor and particle -free processing system with particle monitor**

Patent Number: ☐ EP0821401, A3  
 Publication date: 1998-01-28  
 Inventor(s): ITO NATSUKO (JP); UESUGI FUMIHIKO (JP)  
 Applicant(s):: NIPPON ELECTRIC CO (JP)  
 Requested Patent: ☐ JP10010036  
 Application Number: EP19970106990 19970428  
 Priority Number(s): JP19960130957 19960426; JP19960301361 19961025  
 IPC Classification: H01L21/00 ; H01L21/66 ; G01N21/88  
 EC Classification: H01L21/66M2 ; G01N15/14 ; H01L21/66P  
 Equivalents: JP2982720B2, ☐ US5870189

**Abstract**

A particle monitor comprises a light source (11) for emitting a light ; a transmitter for transmitting the light into a space having particles over a wafer in a wafer processing system (12) to irradiate the light to the particles for causing a scattered light ; a photo-detector (13) for detecting the scattered light or luminance to generate output signals corresponding to the intensity of the scattered light ; a signal intensity judgment device (14) for receiving the output signals from the photo-detector (13) and comparing the output signals with a predetermined reference value already set in the signal intensity judgment device (14) so as to judge whether the intensity of the scattered light is higher or lower than the predetermined reference value ; and a display (15) for at least either displaying intensity of the scattered light and luminance and distributions in intensity thereof or displaying distributions in size



and the number of particles.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

TOP

**Claims**

## 1. A particle monitor comprising :

a light source (11) for emitting a light ;  
 a transmitter for transmitting the light into a space having particles over a wafer in a wafer processing system (12) to irradiate the light to the particles for causing a scattered light ;  
 a photo-detector (13) for detecting the scattered light or luminance to generate output signals corresponding to the intensity of the scattered light ;  
 a signal intensity judgment device (14) for receiving the output signals from the photo-detector (13) and comparing the output signals with a predetermined reference value already set in the signal-

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-10036

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月16日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 N 15/14			G 0 1 N 15/14	D
21/21			21/21	Z
21/49			21/49	Z
H 0 1 L 21/66			H 0 1 L 21/66	Z

審査請求 有 請求項の数 4 F D (全 15 頁)

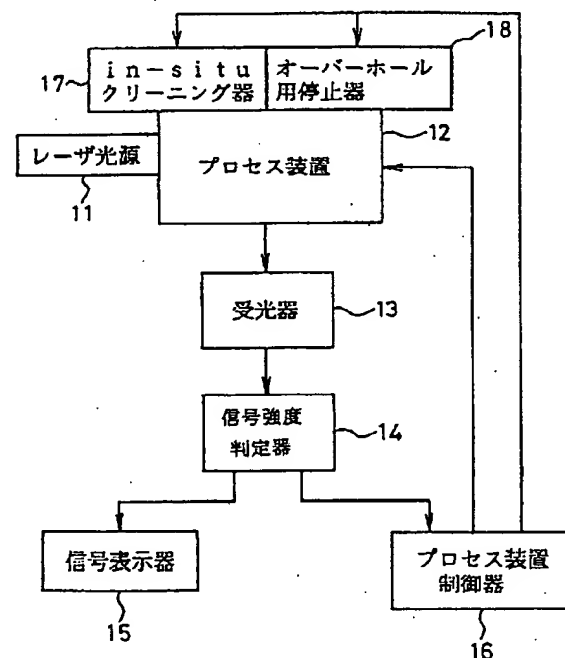
(21) 出願番号	特願平8-301361	(71) 出願人	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(22) 出願日	平成8年(1996)10月25日	(72) 発明者	上杉 文彦 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願平8-130957	(72) 発明者	伊藤 奈津子 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(32) 優先日	平8(1996)4月26日	(74) 代理人	弁理士 加藤 朝道
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 パーティクルモニター装置およびこれを具備した無塵化プロセス装置

## (57) 【要約】

【課題】ウェハ上空間に存在するパーティクルを *in-situ*・リアルタイムで計測し、パーティクル誘起不良の発生を事前に防止する。

【解決手段】プロセス装置12中に浮遊しているパーティクルによるレーリー散乱光やラマン散乱光を受光器13で電気信号に変換し、信号強度判定器14に伝達する。この判定器には、予めパーティクル発生状況とウェハ歩留まりの相関に基づいた散乱光強度が設定されている。得られた散乱光強度と設定値との大小関係に応じて、その状況を信号表示器15またはプロセス制御器16へ伝達し、制御器16は、判定器14での結果に対応した信号を *in-situ* クリーニング器17またはオーバーホール用停止器18に伝え、これらの作動をスタンバイまたは実際に作動させる。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】光源と、

プロセス装置と、

前記光源からの光を前記プロセス装置に導入する手段と、

と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光を測定する受光手段と、

前記受光手段からの信号強度を所定の値と比較して大小を判定する信号強度判定手段と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光の強度、又はその強度分布を表示する手段、及び／又は、前記散乱光又は発光を引き起こす物質の大きさ、及び数などの分布状態を表示する手段と、

を含むことを特徴とするパーティクルモニター装置。

## 【請求項2】光源と、

プロセス装置と、

前記光源からの光の偏光状態を所望の状態にする光学的手段と、

前記光学的手段からの光を前記プロセス装置に導入する手段と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光の偏光状態を波長板を回転して測定する受光手段と、

前記受光手段からの信号強度を所定の値と比較して大小を判定する信号強度判定手段と、

前記プロセス装置内からの散乱光または発光の強度、またはその強度分布を表示する手段、及び／又は、前記散乱光または発光を引き起こす物質の大きさ、数、屈折率などの分布状態を表示する手段と、

を含むことを特徴とするパーティクルモニター装置。

【請求項3】請求項1又は2に記載のパーティクルモニター装置において、

前記受光器からの信号強度を所定の値と比較する信号強度判定手段からの比較結果信号に基づいて作動する前記プロセス装置の用力を制御する手段、前記プロセス装置に装着したイン・シチュー（in-situ）クリーニング手段、及び前記プロセス装置のオーバーホールを指示する手段のうちの少なくとも1つを含むことを特徴とする無塵化プロセス装置。

【請求項4】前記信号強度判定手段が、パーティクルの粒径及び／又は濃度に関連して、予め設定されるしきい値を前記受光手段からの信号強度と比較判定することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のパーティクルモニター装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、パーティクルモニター装置に関し、特に、ウェハ上の空間に存在するパーティクルまたはその前駆体をイン・シチュー（in-situ）でモニターし、プロセス装置内のパーティクルの存在状態をリアルタイムで把握しウェハにパーティ

クルが付着することによって生じる不良を予知する装置に関する。また本発明は、パーティクルの存在情報に基づいてウェハ上の空間からパーティクルを除去する装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】LSIの量産段階での歩留まりに最も影響を与える要因の1つとしてパーティクル起因の欠陥があることはよく知られている。このため、半導体製造工程においては、量産のいくつかの工程が終了するたびに、パーティクルの検査を行っている。パーティクルの検査として、従来、表面レーザ光を照射してその散乱光からパーティクルを検出するものと、隣り合うチップの画像の比較から差分を取り出すことによって検出する方法が用いられている。

【0003】ところが、これらの従来の方法では、LSIが微細化するにつれて、表面の凹凸が、パーティクルのサイズよりも大きくなるに至り、このため、パーティクルを検出することが困難となっている。

【0004】そこで、工程終了後に検査する替わりに、装置内のパーティクルを測定する方法が考えられている。

【0005】レーザ光散乱によって装置のパーティクルを測定する方法の従来技術として、例えば特開平3-39635号公報には、粒子径が0.07 $\mu$ m以下であるような微粒子であっても、精度良く検出できる装置を提供することを目的として、光ビームを発生する光源と、光ビームの光軸上に設けた、被測定流体が流されるフローセルと、このフローセルに対向し、かつ上記光軸に関して対象になる位置にそれぞれ1個ずつ設けた合わせて2個の受光器と、これら2個の受光器に接続して設けた検出部と、を有し、かつ上記検出部は、上記2個の受光器にそれぞれ接続して設けたそれら各受光器の出力信号のうち、予め設定したしきい値を超えている出力信号のみを取り出す、合わせて2個の識別回路と、これら2個の識別回路に接続して設けた、これら2個の識別回路の出力信号のうち、同時性をもつ出力信号のみを選択して出力する判定回路と、この判定回路の出力信号を計数するカウンタ回路を備えている微粒子測定装置が提案されている。

【0006】散乱光を電気信号に変換して表示する従来技術としては、例えば特開平4-352077号公報、実開平3-39721号公報の記載が参照される。またセルビン（Gary S. Selwyn）による論文（ジャーナル オブ バキュームサイエンス アンド テクノロジー誌、第B9巻、1991年、第3487～3492頁）（「文献1」という）の記載が参照される。さらに、渡辺らによる論文（アプライド フィジックス レターズ誌（Applied Physics Letters）、第61巻、1992年、第1510頁～1512頁）（「文献2」という）の記載も参照される。

【0007】また、所望の偏光状態のレーザ光を用いて、パーティクルによって散乱された光の偏光状態の入射レーザ光のそれに対する変化を測定する方法がある。レーザ発振器からのレーザ光を偏光子を通して、水平面に対する方位角 $45^\circ$ の直線偏光にした後に、プロセス装置に導入する。パーティクルによる散乱光は、回転検光子を通過後、光検出器に到達する。光検出器からの信号強度を、光検出器の前に装着した $1/4$ 波長板を通した場合と、 $1/4$ 波長板を使用しない場合の2通りについて測定すると、回転検光子の回転周波数で変調が掛かった時間的に変動する信号が得られる。これをフーリエ変換すると、パーティクルの組成、数密度、分布を決めるのに必要なストークスパラメータが求まる。

【0008】この方法の具体例は、例えば、林らによってジャパニーズ ジャーナル オブアプライド フィジクス (Jpn. J. Appl. Phys.) 誌の第33巻(1994年)の第L476頁からL478頁に発表された論文(「文献3」という)が参照される。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】上記した従来技術のうち、上記特開平3-39635号公報に記載の技術は、レーザ光散乱を用いて液体中または気体中などの流体中のパーティクルを測定する装置に関するものであるが、フローセルに被測定流体を導入して測定を行うものであるため、ウェハ上のパーティクルとの相関をとりにくいという問題がある。

【0010】また、散乱光を画像信号に変換し処理する従来技術としては、上記した特開平4-352077号公報に記載されたものがあるが、しかし、この従来技術では、発煙または発塵がある場合の画像を、それがないときのものと比較して差分から発煙や発塵を認識するものであり、煙や塵の濃度や粒径、その分布を測定するものではないため、発煙や発塵の機構に遡ることが困難とされ、発生源に対して速やかな対処方法を指示することは困難である。

【0011】さらに、実開平3-39721号公報に記載の従来技術は、散乱光強度をある特定の受光素子に集光し、パーティクルの大きさを複数個の配列されたLED(半導体発光素子)で表示し、パーティクルの濃度をプリンタに出力するものである。しかしながら、この従来の方法では、プロセス装置内でのパーティクル発生源の特定やウェハの歩留まりに直接関与するパーティクルの発生源を特定することが困難である。

【0012】また、プロセス装置内のウェハ表面上の空間におけるパーティクルを光散乱で測定し、散乱光をCCD(電荷蓄積素子)カメラで測定して画像を得る方法が例えば、セルビン(Gary S. Selwyn)によって上記文献1(ジャーナル オブ バキューム サイエンス アンド テクノロジー誌、第B9巻、1991年、第3487頁〜3492頁)に記載されている。また、類似の

ものが渡辺らによって上記文献2(アプライド フィジックス レターズ誌(Applied Physics Letters)、第61巻、1992年、第1510頁〜1512頁)に記載されている。

【0013】これらの各文献に報告されている散乱光の2次元画像は、微少な数10nm程度の大きさのパーティクルからの散乱光と、サブ $\mu$ mから $\mu$ m程度の大きなパーティクルからの散乱光とが同一の画像として捉えられている。しかしながら、この画像では、パーティクル全体が1つの輝いている雲のように観測されているだけである。そして、得られた画像を一旦テープに採ってから(記憶してから)、輝度に応じて粒径の空間分布を計算している。

【0014】このため、ウェハ表面よりも上の空間に存在するパーティクルの分布をリアルタイムで測定することができず、ウェハの歩留まりや装置の時々刻々変わる状況を追跡できないという問題がある。したがって、このような画像の取得後の処理では、ウェハ損失を防止するために、例えば量産プロセス技術者は、とるべき行動を判断し難いという問題がある。

【0015】また、パーティクルの粒径とその密度を測定するために、所望のプロセス中の空間の1点からの散乱光を測定しているが、この方法ではパーティクルの全体の動きや分布の時間変化が解らない。すなわち、この場合にも、ウェハ損失を防止するために、量産プロセス技術者がとるべき行動を判断しにくいという問題がある。

【0016】さらに、上記文献3に記載されるような、回転検光子法を用いた散乱光の偏光解析では、 $1/4$ 波長板を挿入した時と、外した時の、各々の場合について、測定しないと、パーティクルの粒径、数密度、屈折率を推定するのに必要なストークス・パラメータ全てを求めることができない。

【0017】現在、LSIの製造工程では枚葉式プロセス装置が主流となっており、ウェハ1枚当りのプロセス時間は60秒から120秒程度とされている。したがって、この時間内で、パーティクルの発生状況を時々刻々モニターし、その結果を、リアルタイムでプロセス技術者に提供する必要がある。

【0018】ところが、回転検光子法では、ウェハへのプロセス時間、高々120秒内で、時々刻々の変化を追跡する目的には、この方法を適用することは、困難である。すなわち、 $1/4$ 波長板の有無の2回の測定をする間に、パーティクルの成長が進行するために、得られた結果から求まるストークスパラメータが、特定の時刻でのプロセス環境を反映できない、という問題点がある。

【0019】したがって、本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は、ウェハ上空間に存在するパーティクルをin-situ、かつリアルタイムで計測し、パーティクル誘起不良の発生

を事前に防止する装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、本発明のパーティクルモニター装置は、光源と、プロセス装置と、前記光源からの光を前記プロセス装置に導入する手段と、前記プロセス装置内からの散乱光または発光を測定する受光手段と、前記受光手段からの信号強度を所定の値と比較して大小を判定する信号強度判定手段と、前記プロセス装置内からの、散乱光、発光の強度、またはその強度分布を表示させる手段と、及び／又は、前記散乱光や発光を引き起こす物質の大きさ、数などの分布を表示させる手段と、を含むことを特徴とする。

【0021】また、本発明は、LSIの生産工程で使用するプロセス装置内で発生するパーティクルをレーザ光散乱法を用いるモニター装置であって、散乱光の偏光状態の変化を検光子と波長板を用いて測定する装置において、パーティクルの屈折率、粒径およびその分布、数密度を推定するのに必要なストークスパラメータを、プロセス装置の時々刻々の変化に応じて求めるために、波長板を回転させる機構を具備することを特徴とするパーティクルモニタリング装置を提供する。

【0022】さらに、本発明は、パルスレーザ光を使用し、レーザ光のパルス数を計数して、所望のパルス数ごとに波長板を回転させることを特徴としている。

【0023】また、本発明は、上記パーティクルモニター装置において、前記受光器からの信号強度を所定の値と比較する信号強度判定手段からの比較結果信号に基づいて作動する前記プロセス装置の用力を制御する手段、または前記プロセス装置に装着したイン・シチュー（*in-situ*）クリーニング手段、または前記プロセス装置のオーバーホールを指示する手段の少なくとも1つを具備することを特徴とする無塵化プロセス装置を提供する。

【0024】

【発明の実施の形態】以下に本発明の好ましい実施の形態及び実施例を説明する。

【0025】まず本発明の原理・作用を以下に説明する。プロセス誘起パーティクルによる不良の予知保全のためには、数nmから数10nmの大きさのパーティクルを検出することが必要である。プロセス中の反応に影響を与えない波長を与えると通常可視領域の光を使用する必要がある。

【0026】この場合、対象とするパーティクルは波長より桁で小さく、光散乱はレイリー散乱が主になると考えてよい。通常半径 $a$ 、複素屈折率 $m$ 、数密度 $N$ のパーティクルによる波長 $\lambda$ の光のレイリー散乱光強度 $I$ は、入射光強度を $I_0$ とし、散乱体と測定点の間の距離を $r$ 、散乱体から測定点に向かう方向とレーザ光の進行方向とをなす角を $\theta$ とすると、次式（1）で表されること

が知られている。

【0027】

$$I = A \cdot (2\pi/\lambda)^4 \cdot f(m) \cdot a^6 \cdot N \cdot I_0 \quad \dots (1)$$

但し、

$$A = (1 + \cos^2 \theta) / 2r^2$$

$$f(m) = |(m^2 - 1) / (m^2 + 2)|^2$$

【0028】散乱光を受光器で受けたとき、受光器の電気信号への変換効率を $\eta$ とすると発光器からの信号強度 $S$ は次式（2）で表される。

$$S = \eta I \quad \dots (2)$$

【0030】図3に示すように、プロセス装置12中のパーティクルからの散乱光を入射レーザ光に対して直角方向から観測する場合を考える。パーティクルからの散乱光をCCD素子アレーの受光素子からなる受光器13で受けたとき、受光素子からの信号強度のパーティクル直径依存性は図4、数密度依存性は図5にそれぞれ示すようなものとなる。また、これらの結果から検出可能なパーティクルの直径と数密度の関係は図6に示すようなものとなる。

【0031】一方、ウェハ表面へのパーティクル誘起不良を事前に予知し防止するためには、不良発生につながるが、その時点では不良を生じさせない大きさと数密度の微小パーティクルをプロセス中にイン・シチュー（*in-situ*）で検出し、これらが成長する過程をリアルタイムでモニターする必要がある。

【0032】さらに、この微小パーティクルの大きさと数密度の時間変化をモニターする過程で、所定の大きさ、または所定の数密度を越えるとプロセス技術者にそのことを知らせるか、またはプロセス装置の用力を自動制御してパーティクル発生を抑制したり、*in-situ*クリーニングしたり、装置のオーバーホールを指示する。

【0033】モニターの過程でこのような判断をする基準になるパーティクルの大きさを図4の $a_i$ 、または数密度を図5の $N_i$ とする。また、図6に、この $a_i$ と $N_i$ から決まる直線 $l_i$ を示す。

【0034】 $a_i$ 、 $N_i$ 、さらには $l_i$ は、プロセスの種類や材料、さらには使用装置によって異なるし、製造するLSIの集積度によっても異なる。また、判断がプロセスの継続と中断といった1種類だけでなく、微小パーティクル発生の際報、不良発生の可能性の際報、クリーニングの指示、オーバーホールの指示、などのように多段階の判断を行うときには、それぞれの判断基準となる $a_i$ 、 $N_i$ 、 $l_i$ を指定する必要がある。

【0035】本発明においては、散乱光を発生させるための入射レーザ光は連続光であってもパルス光であってもよいが、パルス光を用いて散乱光を測定する場合、さらなる利点がある。後方散乱、または前方散乱の観測において、上述した散乱光強度の式にしたがって、その強

度からパーティクルの大きさの情報が得られる。

【0036】また、ある1つの入射パルス光の入射時間を基準にして、観測される散乱光のパルスの数から、存在しているパーティクル数に関する情報が得られる。すなわち、パーティクルの大きさと数とを分離して計測できることになる。

【0037】図1は、本発明の実施の形態の構成を示すブロック図であり、パーティクルのモニターから一連の動作までを示すブロック図である。

【0038】図1を参照すると、本発明の実施の形態においては、レーザ発振器とレーザ光を空間的に走査する機器からなるレーザ光源11からのパルス光または連続光がプロセス装置12に導入され、この内部に浮遊しているパーティクルによって散乱光が生じる。この散乱光はレーリー散乱のように、入射光と同じ波長の散乱光であっても良いし、ラマン散乱のように入射光と異なる波長のものであっても良い。主な散乱形態はレーリー散乱であるが、対象とする材料によってはラマン散乱が生じることも期待できる。また、このような散乱だけではなく、材料によっては発光の観測も期待できる。

【0039】散乱光は受光器13で電気信号に変換される。この電気信号への変換は、散乱光強度に線形に比例することが好ましいが、散乱光強度と電気信号とが1対1に対応するのであれば非線形であってもよい。

【0040】この受光器13としては、CCD、フォトマルチプライヤー、マルチチャネルプライヤーなどをはじめとする光電変換装置ならなんでもよい。また、この受光器13の前に分光器を装着してもよい。ラマン散乱や発光の観測の場合には、入射レーザ光やプロセス雰囲気中の光からの分離に有効である。

【0041】受光器13からの電気信号は信号強度判定器14に入力される。信号強度判定器には予め、設定値 $a_i$ 、 $N_i$ 、 $l_i$ に対応する強度 $I_i$ が設けられており、散乱光の信号 $I$ と設定値 $I_i$ との大小を判断する。

【0042】信号 $I$ と設定値 $I_i$ の大小関係によって $I < I_i$ の時にはプロセス継続の、 $I \geq I_i$ の時にはin-situクリーニングやオーバーホール指示の警報の表示をする。

【0043】また信号 $I$ の時間変化、設定値 $I_i$ への信号 $I$ の接近の仕方、信号 $I$ のプロセス装置内での空間分布などを信号表示器15で表示する。これによってプロセス技術者がプロセスやその装置状態を把握できる。

【0044】また、これと平行して、信号強度判定器14からの信号は、プロセス装置制御器16へも送られる。

【0045】このプロセス装置制御器機16は、信号表

示器15が単なる表示器であるのに対して、 $I < I_i$ 、 $I \geq I_i$ に応じてプロセス装置12を最適環境に維持するためのフィードバックをかける。

【0046】例えば、 $I < I_i$ の時、プロセス継続の判断が下されているときであっても、微量のパーティクルが発生しているのであれば、電力、温度、ガス流量などの用力の変化を検出してこれを元に戻したり最適条件を維持できるように変化させる。

【0047】一方、 $I \geq I_i$ であれば、プロセス装置のin-situクリーニング器17のスタンバイまたは稼働を行わせたり、オーバーホール用停止器18のスタンバイまたは稼働させてプロセス装置を一時停止したりする。設定値 $I_i$ を1つではなく複数用いると、さらにきめ細かな表示や制御が可能になる。

【0048】以上説明した、パーティクルによる散乱光の計測結果に基づいたプロセス装置状態のin-situ、リアルタイムでモニタリング、及び、不良発生の予知保全は、散乱光強度の上式(1)に基づいて、パーティクルの半径 $a$ 、数密度 $N$ に対してある所望の管理数値を決めて、実測された散乱光強度と、これら管理数値から決まる散乱光強度と、の大小を判定するものである。

【0049】上式(1)から分かるように、同一の散乱光強度を与えるパーティクルの半径 $a$ 、複素屈折率 $m$ 、数密度 $N$ の組み合わせが複数あるので、 $a$ 、 $N$ だけでなく、複素屈折率 $m$ も個別に推定できれば、パーティクルの組成ごとに空間分布に関する知見を得られるので、不良の予知保全を行う上で有効性が格段に向上する。

【0050】 $a$ 、 $N$ 、 $m$ を個別に推定する方法は、特定の偏光状態にあるレーザ光をプロセス装置内に導入して、散乱光の偏光状態がレーザ光のそれに対する変化を計測するものである。

【0051】この散乱光の偏光解析方法の原理は、上記文献3に記載されている。また装置構成上の光学素子の配列と構成要素は、上記文献3記載のものと同じとされるが、決定的な差は、図7に示すように、散乱光の受光素子26の前に設置する検光子19は固定して使用することと、回転1/4波長板20を使用することである。文献3では検光子を回転させ、1/4波長板は固定させている。

【0052】偏光子21を介して特定の偏光状態のレーザ光22が、プロセス装置12に導入され、内部にあるパーティクル23によって散乱光24が生じる。これを回転1/4波長板を用いる回転移相子法では、受光器13で検出される散乱光強度 $I$ は次式(3)で示される。

【0053】

【数1】

$$I = I_{DC} (2 - Q) - I_{DC} Q \cos 4 \omega t + I_{DC} 2 V \sin 2 \omega t - I_{DC} U \sin 4 \omega t$$

但し、

$I_{DC}$  = 受光素子26からの出力の直流(DC)成分

$Q = -\cos 2\Psi$

$U = \sin 2\Psi \cos \Delta$

$V = -\sin 2\Psi \sin \Delta$

$\tan \Psi$  = 散乱光の水平偏光成分と垂直偏光成分の強度比

$\Delta$  = 散乱光の水平偏光成分と垂直偏光成分の位相差

$\omega = 1/4$  波長板の回転角速度

【0054】すなわち、受光素子26における、散乱光強度の時間変化は、必要なストークス・パラメータ全てを含んでいることから、時間変化をフーリエ変換して、 $1/4$ 波長板の回転角速度のフーリエ係数から、これらを求めることができる。

【0055】すなわち、上記文献3の回転検光子法では、 $Q$ 、 $U$ 、 $V$ を求めるには $1/4$ 波長板の有無の2回の計測が必要とされるのに対して、回転移相子法では、一回の測定結果から、パーティクルの粒径、光学定数、数密度などを求めることができる。このことは、従来技術では困難であったプロセス装置内のパーティクル発生を *in-situ*、リアルタイムでモニタリングできると同時に、粒径や数密度、屈折率も *in-situ*、リアルタイムで推定できることを意味する。

【0056】そして、この回転移相子法を用いると、ウェハ上空間で発生するパーティクルがプロセス中の反応によって成長したものか、それとも電極や装置内壁からの剥離に起因するかの区別ができるようになる。

【0057】その理由は、反応によって成長したパーティクルと、剥離によって生じたパーティクルと、では、組成が異なることが知られており、組成の相違は、屈折率の違いとして現れる、からである。

【0058】すなわち、この実施の形態によれば、発生原因を明確にでき、それに適した対応策を採ることができるようになる。反応中に成長し浮遊しているパーティクルに対してはプロセス条件の見直し、変更の観点から不良の予知保全ができる。一方、装置内壁からの剥離に起因するパーティクルに対しては装置の *in-situ* クリーニングやオーバーホールの観点から予知保全が可能になる。

【0059】この実施の形態において、図1、図2に示した信号の流れを示すブロック図は、同じであるが、図4、図5、及び図6における  $a_i$ 、 $N_i$ 、 $l_i$  が、各屈折率  $m$  に対して定めることができる。

【0060】そして、上述したのと同様な信号強度の判定で、パーティクルによる不良の発生に対する予知保全が行われる。

【0061】このように、本発明の実施の形態においては、プロセス中の微小パーティクルをレーザ光の散乱光

で検出し、その信号強度を予め設定した値と比較することによって、プロセス装置の状態を *in-situ*、リアルタイムでモニタリングすることができる。さらに不良発生を事前に予知してその原因を除去でき、無塵化プロセスを実現できる。

【0062】

【実施例】上記した本発明の実施の形態をより詳細に説明すべく、本発明の実施例を以下に説明する。

【0063】【実施例1】本発明の第1の実施例として、タングステン熱CVDプロセスの場合について説明する。図3に、本実施例の構成を示す。YAGレーザの第2高調波532nmで得られる散乱光の信号強度のパーティクル直径と数密度の関係を図8に示す。

【0064】パーティクル誘起不良を予測し不良の発生を抑制するために、熱CVD装置へのフィードバックを行うか否かの判断基準となるパーティクルの直径を、 $a_1 = 20 \text{ nm}$ 、 $a_2 = 100 \text{ nm}$ 、また、これの数密度を  $N_1 = 10^9 \text{ 個/cm}^3$ 、 $N_2 = 10^6 \text{ 個/cm}^3$  とし、 $a_1$  と  $N_1$  で決まる線  $l_1$ 、 $a_2$  と  $N_2$  で決まる  $l_2$  を、図8に重ねて示す。

【0065】図8を参照して、散乱光強度が  $l_1$  で決まる値よりも小さいときは不良の発生は生じない。

【0066】また  $l_1$  よりも大きく、 $l_2$  よりも小さいときには不良は発生しないが、パーティクルは生じていることを示す。

【0067】そして、 $l_2$  よりも大きい場合には、不良が発生する危険性が大きいことを示す。

【0068】本実施例での信号の流れ、及びプロセス装置に対する制御方式を図1を用いて説明する。上述した  $l_1$  と  $l_2$  の値は信号強度判定器14に設定しておく。

【0069】プロセス装置12の状態が良くパーティクルがほとんど発生していないときには、レーザ光源11からの光の散乱はほとんど生じず、受光器13から信号判定器14への伝わる信号強度は小さい。このときの信号強度は  $l_1$  よりも小さいものと認識され、その旨が信号表示器15に伝えられ、表示される。同時に、この旨はプロセス制御器16に伝えられる。そして信号強度が  $l_1$  よりも小さいので、プロセス装置12に対しては何のフィードバックもかからない。

【0070】また信号強度が $l_1$ よりも大きく $l_2$ よりも小さいときには、その旨が信号表示器15に表示されると同時に、プロセス制御器16からin-situクリーニング器17の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その結果、プロセス中のウェハの処理が終了するとNF<sub>3</sub>ガスを用いたプラズマによるin-situクリーニングが行われ、プロセス装置12は元の正常な状態に戻る。

【0071】そして信号強度が $l_2$ よりも大きいときには、その旨が信号表示器15に表示されると共に、プロセス制御器16からオーバーホール用停止器18の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その際、プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置12を停止してオーバーホールを実施する。

【0072】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置にフィードバックをかけることによって、装置のダウンタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0073】本実施例では、 $a_1=20\text{nm}$ 、 $a_2=100\text{nm}$ 、 $N_1=10^9\text{個}/\text{cm}^3$ 、 $N_2=10^6\text{個}/\text{cm}^3$ としたが、使用装置やプロセス条件に応じてこれらの値は異なるので、それぞれの場合に応じてこれらの値が設定される。

【0074】また、本実施例では、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15とプロセス装置制御器16とに平行して伝えられる構成になっているが、図2に示すように、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15に伝えられ、信号表示器15からプロセス制御器16に信号が伝えられる構成も考えられる。この場合はプロセス技術者が信号表示器15をみてプロセス制御器16を作動させることになる。

【0075】また、本実施例では、レーザ光は空間的に走査していないが、レーザ光源11の構成要素の1つであるレーザ光を空間的に走査する機器を作動させれば、散乱光強度の2次元、3次元的な分布を信号表示器15で測定することができ、プロセス装置12内のパーティクルの発生と分布状態を知ることができる。

【0076】〔実施例2〕本発明の他の実施例として、タングステンのプラズマエッチングプロセスの場合について説明する。図9に本実施例の構成を示す。

【0077】レーザ光源11は、YAGレーザ発振器と第2高調波発生用非線形光学結晶を含むレーザ装置25と偏光子21を含み、この偏光子21を透過した後、45°の直線偏光になった波長532nmのレーザ光22を得られる。

【0078】レーザ光22は、プロセス装置12の内部に浮遊しているパーティクル23によって散乱される。散乱光24は、一定速度で回転する回転1/4波長板20を透過後、固定されている検光子19を通り、干渉フ

ィルタが装着されている受光素子26に到達する。

【0079】データ処理器27では、光強度の時間変化をフーリエ変換し、上式(3)の係数を求め、さらにストークス・パラメータQ、U、Vを求める。

【0080】これらQ、U、Vから、散乱光強度と散乱光の偏光状態を規定する $\Psi$ 、 $\Delta$ を算出する。そして、これらの数値から、パーティクルの粒径、光学定数(屈折率)、数密度などを求める。

【0081】パーティクル誘起不良を予測し不良の発生を抑制するために、エッチング装置へのフィードバックを行うか否かの判断基準となるパーティクルの直径を $a_1=20\text{nm}$ 、 $a_2=100\text{nm}$ 、またその数密度を $N_1=10^9\text{個}/\text{cm}^3$ 、 $N_2=10^6\text{個}/\text{cm}^3$ とする。

【0082】これらの数値とデータ処理器27で算出される屈折率 $m$ から、 $a_1$ 、 $N_1$ 、 $m$ で決まる線 $l_1$ 、 $a_2$ 、 $N_2$ 、 $m$ で決まる $l_2$ を図10に示す。

【0083】パーティクルの成長によって粒径が変化したり、成長の過程でパーティクルの中心部と表面の組成が変わると、屈折率 $m$ が変化する場合がある。すなわち、図10において、判断基準の線 $l_1$ と $l_2$ は、 $m$ の実測値の変化に応じて変化する。データ処理器27では、 $m$ 、 $a$ 、 $N$ を算出するので、計測の各時点で $l_1$ 、 $l_2$ に対して信号強度の大小を判断できる。

【0084】図10を参照して、散乱光強度が $l_1$ で決まる値よりも小さいときは不良の発生は生じない。

【0085】また、 $l_1$ よりも大きく、 $l_2$ よりも小さいときには不良は発生しないがパーティクルは生じていることを示す。

【0086】そして、 $l_2$ よりも大きい場合には、不良が発生する危険性が大きいことを示す。

【0087】本実施例における、信号の流れ、及びプロセス装置に対する制御方式を、図11を参照して以下に説明する。

【0088】受光器13からの信号はデータ処理器27に入力され、データ処理器27において、パーティクルの半径 $a$ 、数密度 $N$ 、屈折率 $m$ が、時々刻々算出される。

【0089】上述した $l_1$ と $l_2$ の値を決めるのに必要な、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $N_1$ 、 $N_2$ は、予め信号強度判定器14に設定しておく。屈折率 $m$ の値に対して、 $l_1$ と $l_2$ の値が時々刻々決まり、 $a$ 、 $N$ 、 $m$ から決まる散乱光強度との大小が判定される。

【0090】プロセス装置12の状態が良く、パーティクルがほとんど発生していないときには、散乱光はほとんど生じず、受光器13、データ処理器27から信号判定器14への伝わる信号強度は小さい。このときの信号強度は $l_1$ よりも小さいものと認識され、その旨が、信号表示器15に伝えられ、表示される。同時に、この旨はプロセス制御器16に伝えられる。そして、信号強度が $l_1$ よりも小さいので、プロセス装置12に対しては



何のフィードバックもかからない。

【0091】また信号強度が $I_1$ よりも大きく $I_2$ よりも小さいときには、その旨が、信号表示器15に表示されると同時に、プロセス制御器16からin-situクリーニング器17の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。

【0092】その結果、プロセス中のウェハの処理が終了すると $\text{NF}_3$ ガスを用いたプラズマによるin-situクリーニングが行われ、プロセス装置12は元の正常な状態に戻る。

【0093】そして信号強度が $I_2$ よりも大きいときには、その旨が、信号表示器15に表示されると共に、プロセス制御器16からオーバーホール用停止器18の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その際、プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置12を停止してオーバーホールを行う。

【0094】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置にフィードバックをかけることによって、装置のダウンタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0095】本実施例では、 $a_1=20\text{ nm}$ 、 $a_2=100\text{ nm}$ 、 $N_1=10^9\text{ 個/cm}^3$ 、 $N_2=10^6\text{ 個/cm}^3$ としたが、使用装置やプロセス条件に応じてこれらの値は異なるので、それぞれの場合に応じてこれらの値が設定される。

【0096】また、本実施例では、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15とプロセス装置制御器16とに平行して伝えられる構成になっているが、図12に示すように、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15に伝えられ、信号表示器15からプロセス制御器16に信号が伝えられる構成も考えられる。この場合は、プロセス技術者が信号表示器15をみてプロセス制御器16を作動させることになる。

【0097】また、本実施例では、レーザ光は空間的に走査していないが、レーザ光源11の構成要素の1つであるレーザ光を空間的に走査する機器を作動させれば、散乱光強度の2次元、3次元的な分布を信号表示器15で測定することができ、プロセス装置12内のパーティクルの発生と分布状態を知ることができる。

【0098】[実施例3] 本発明の第3の実施例として、ポリシリコン(poly-Si)のプラズマCVD(化学気相成長)の場合を例にとって説明する。Siの微粒子では、観測されるラマン散乱光の波長が微粒子の大きさによって変化することが知られている。Si微粒子の大きさが7 nmのときには照射レーザ光に対して $480\text{ cm}^{-1}$ 低エネルギー側にラマン散乱光が生じる。

【0099】微粒子の大きさが8 nmになるとこの変化量は $485\text{ cm}^{-1}$ に、10 nmになると $510\text{ cm}^{-1}$ に、14 nmになると $517\text{ cm}^{-1}$ になる。22 nm

では、バルクSiと同じ $520\text{ cm}^{-1}$ に観測される。

【0100】そこで、図13に示すように、ポリシリコン微粒子からのラマン散乱光の波長に対する強度の測定結果をもとに、強度 $I_1$ と $I_2$ を設定し、例えば $510\text{ cm}^{-1}$ の強度が、 $I_1$ よりも小さいときにはパーティクルによる不良は発生しないが、 $520\text{ cm}^{-1}$ の強度が $I_2$ を越すと不良が発生する危険性が大きいことを示す。すなわち、ラマン散乱光が観測される波長と、その強度を測定することによって、パーティクル発生状況をモニターできることになる。

【0101】図1に示したプロセス装置12からのレーザ散乱光とラマン散乱光を、マルチチャネル分光器とフォトマルチプライヤーからなる受光器13で受ける。分光器でレーザ散乱光の波長とラマン散乱光のそれとを分離して、各波長の強度を測定する。これらの信号が信号強度判定器14に伝えられる。この判定器には上述のように、予め $510\text{ cm}^{-1}$ と $520\text{ cm}^{-1}$ に対して $I_1$ と $I_2$ の値が設定されている。

【0102】プロセス装置12の状態が良くパーティクルがほとんど発生していないときにはレーザ光源11からの光散乱に含まれるラマン散乱はほとんど生じず、受光器13から信号強度判定器14へ伝わるラマン散乱の信号強度は小さい。このときの $510\text{ cm}^{-1}$ の信号強度は $I_1$ よりも小さいと認識され、そのことが信号表示器15に伝えられ、表示される。同時に、このことはプロセス制御器16に伝えられる。信号強度が $I_1$ よりも小さいので、プロセス装置12に対しては何のフィードバックもかからない。

【0103】また $510\text{ cm}^{-1}$ の信号強度が $I_1$ よりも大きく $520\text{ cm}^{-1}$ のそれが $I_2$ よりも小さいときには、10 nm程度のパーティクルが主に発生しており、これよりも大きなものの存在は無視できると考えられる。この信号強度の判定結果が信号表示器15に表示されると共に、プロセス制御器16からin-situクリーニング器17の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その結果、プロセス中のウェハの処理が終了すると $\text{BCl}_3$ ガスを用いたプラズマによるin-situクリーニングが行われ、プロセス装置12は元の正常な状態に戻る。

【0104】そして $510\text{ cm}^{-1}$ と $520\text{ cm}^{-1}$ の両方の信号の信号強度が $I_2$ よりも大きくなると、発生したパーティクルによる不良発生が懸念される。そのことが信号表示器15に表示されると同時に、プロセス制御器16からオーバーホール用停止器18の作動をスタンバイさせる信号が伝えられる。その際、プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置12を停止してオーバーホールを行う。

【0105】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置に

フィードバックをかけることによって、装置のダウンタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0106】本実施例では、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15とプロセス装置制御器16とに平行して伝えられる構成になっているが、上記第1の実施例でも説明したように、図2に示すように、信号強度判定器14からの信号が信号表示器15に伝えられ、そこからプロセス制御器16に信号が伝えられる構成も考えられる。この場合はプロセス技術者が信号表示器15をみてプロセス制御器16を作動させることになる。

【0107】また本実施例においては、レーザ光は空間的に走査していないが、レーザ光源11の構成要素の1つであるレーザ光を空間的に走査する機器を作動させれば、ラマン散乱光強度の2次元、3次元的な分布を信号表示器15で測定することができ、プロセス装置12内のパーティクルの発生と大きさの分布状態、空間分布状態を知ることができる。

【0108】[実施例4] 以上の実施例では、入射レーザ光に対して横方向からレーザ散乱光またはラマン散乱光を観測していた。入射レーザ光はパルス光であっても連続光であっても良かった。本実施例ではレーザ光として、極超短パルス光を用いる場合について、図14を参照して以下に説明する。

【0109】レーザ光源11はレーザ光は10psのレーザパルス光発振器とパルスレーザ光を空間的に走査する機器を含んでいる。これらの光がプロセス装置12に導入され、パーティクルによって反射されてくる散乱光を、レーザ光源11に隣接して設置されている受光器13で検出する。

【0110】この受光器13は、少なくとも入射レーザ光のパルス幅の時間分解機能を持っており、さらにパルス数をカウントする計数手段も備えている。レーザ光が発振された時間を基準にして受光器に到達するまでの時間を測定することによって、プロセス装置12内に存在するパーティクルの場所を特定できる。

【0111】受光器13から出力されるデータは、図15に示すようなグラフになると予測される。パーティクルの発生量は反射されてくる散乱光パルス数で測定できる。

【0112】パーティクルの大きさは、各々の散乱光パルスの強度によって求まる。この強度は、前述したように、レーザ散乱光強度によって求まる。

【0113】照射するレーザ光のパルス幅が10psの時には、 $N_2$ 分子の速度を500m/sとすると分子は約5 $\mu$ m動く。

【0114】ところが、パーティクルの質量がこれの10<sup>4</sup>倍程度あるとすると、その速度は10<sup>-2</sup>倍となり、移動距離は約5pmとなり、測定中のパーティクルの場所の移動はほとんど無視できる。つまり空間分解能は5pm以上である。

【0115】図15に示すように、本実施例では、2種類の設定値を設けておく。第1の設定値は、異なった場所からの散乱光パルス数として10<sup>9</sup>個/cm<sup>3</sup>に対応する2×10<sup>10</sup>個、パルス強度として、粒径20nmの大きさに対応する強度 $I_1$ である。

【0116】第2の設定値は、10<sup>6</sup>個/cm<sup>3</sup>に対応する2×10<sup>7</sup>個、パルス強度として、粒径100nmの大きさに対応する強度 $I_2$ である。

【0117】図14を参照して、信号強度判定器14に予め設定された2種類の設定値に対して、反射されてくる散乱光のパルス数とその強度が第1の判定レベル以下であればパーティクルによる不良発生は生じないと判断されて、プロセス装置12には何のフィードバックもかけない。

【0118】第1の判定レベル以上、第2の判定レベル以下であれば、in-situクリーニング器の作動をスタンバイさせる。プロセス中のウェハの処理が終了するとin-situクリーニングが行われ、プロセス装置は元の正常な状態に戻る。

【0119】また、第2の判定レベルを越す場合にはオーバーホール用停止器の作動をスタンバイさせる。プロセス中のウェハを外観検査装置で検査して異常がなければプロセスを継続するが、不良が発生しているときにはプロセス装置を停止してオーバーホールを実施する。

【0120】このように、散乱光強度をモニターして設定値の値と比較し、その結果に基づいてプロセス装置にフィードバックをかけることによって、装置のダウンタイムの削減、不良ウェハの発生を大きく低減できる。

【0121】本実施例では、レーザ散乱光を測定する場合について説明したが、ラマン散乱光の測定であっても同様にして適用される。

【0122】また、上記実施例2で説明したように、散乱光の偏光解析によって、パーティクルの粒径、数密度、屈折率を計測する方法も適用できる。この場合には、図14の受光器13と信号強度判定器14の間にデータ処理器27を挿入すればよい。データ処理器27の機能は、上記実施例2で説明したものと同様とされる。

【0123】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、ウェハ表面よりも上の空間に存在するパーティクルまたはその前駆体をin-situでモニターし、ウェハの歩留まりを予測し、同時に、プロセス装置の状態把握をリアルタイムで可能としたパーティクルモニター装置を提供する。

【0124】また、本発明によれば、モニターデータを画像として取得し、画像処理によって得られる情報に応じて、パーティクルによるウェハの損失を未然に防止すべくプロセス装置へフィードバックするシステムを実現したものであり、パーティクル誘起不良の発生を事前に防止することを可能とし、これにより製造工程の信頼性

を特段に向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態を説明するための図であり、信号の流れを示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の形態を説明するための図であり、信号の流れを示すブロック図である。

【図3】本発明の第1の実施例の概略構成を示す図である。

【図4】散乱光強度のパーティクル直径依存性の概念図である。

【図5】散乱光強度のパーティクル数密度依存性の概念図である。

【図6】検出可能なパーティクル直径と数密度の関係概念図である。

【図7】散乱光の偏光解析方法の構成概念図である。

【図8】検出可能なタングステンパーティクル直径と数密度の関係概念図である。

【図9】本発明の第2の実施例（散乱光の偏光解析を用いた場合）の概略構成を示す図であり、図散乱光の偏光解析を用いた場合の構成概念図である。

【図10】散乱光の偏光解析を用いた場合の検出可能なパーティクル直径と数密度の関係概念図である。

【図11】本発明の第2の実施例における信号の流れを示すブロック図である。

【図12】本発明の第2の実施例における信号の流れの他の例を示すブロック図である。

【図13】本発明の第3の実施例を説明するための図であり、ポリシリコン（poly-Si）微粒子からのラマン散乱光の波長に対する強度の概念図である。

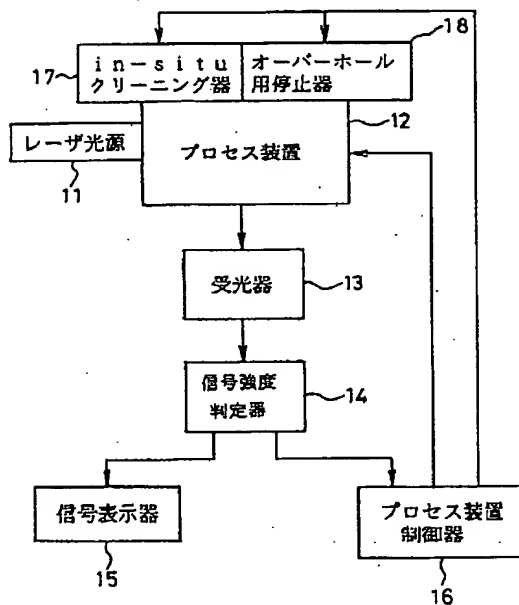
【図14】本発明の第4の実施例の概略構成を示す図である。

【図15】パルス散乱光の時間分解測定結果の概念図である。

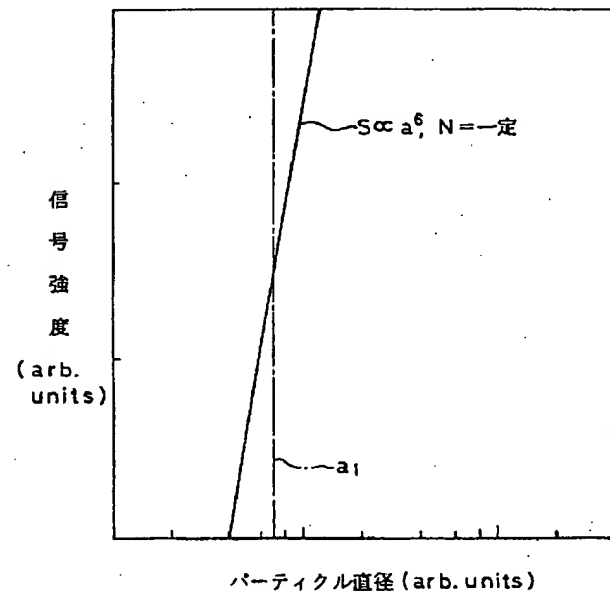
【符号の説明】

- 11 レーザ光源
- 12 プロセス装置
- 13 受光器
- 14 信号強度判定器
- 15 信号表示器
- 16 プロセス装置制御器
- 17 in-situクリーニング器
- 18 オーバーホール用停止器
- 19 検光子
- 20 回転1/4波長板
- 21 偏光子
- 22 レーザ光
- 23 パーティクル
- 24 散乱光
- 25 レーザ装置
- 26 受光素子
- 27 データ処理器

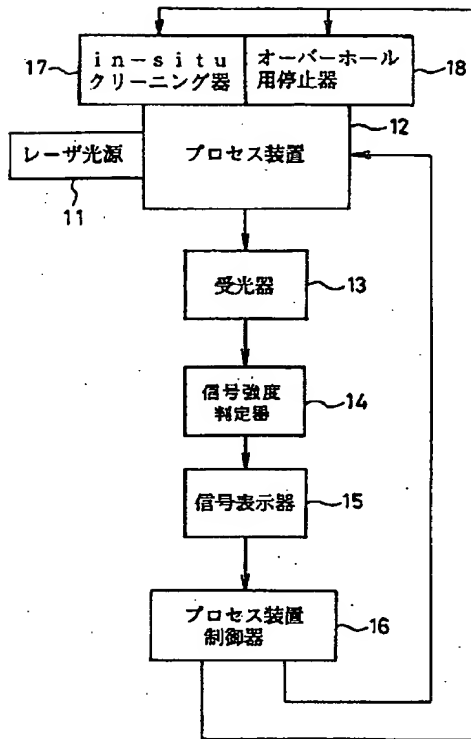
【図1】



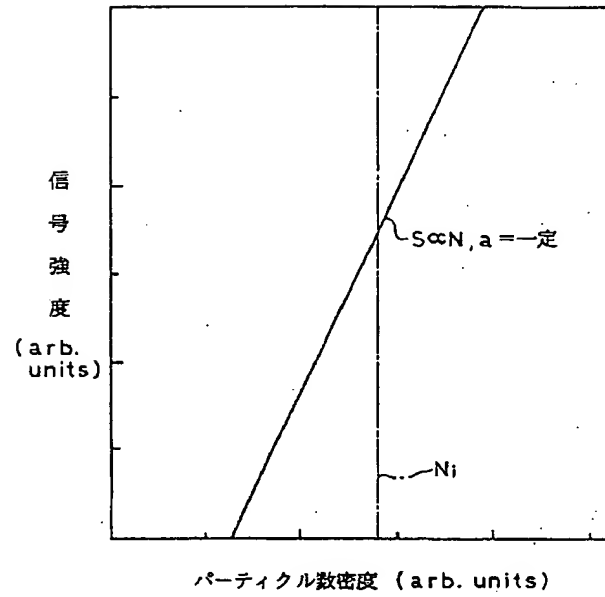
【図4】



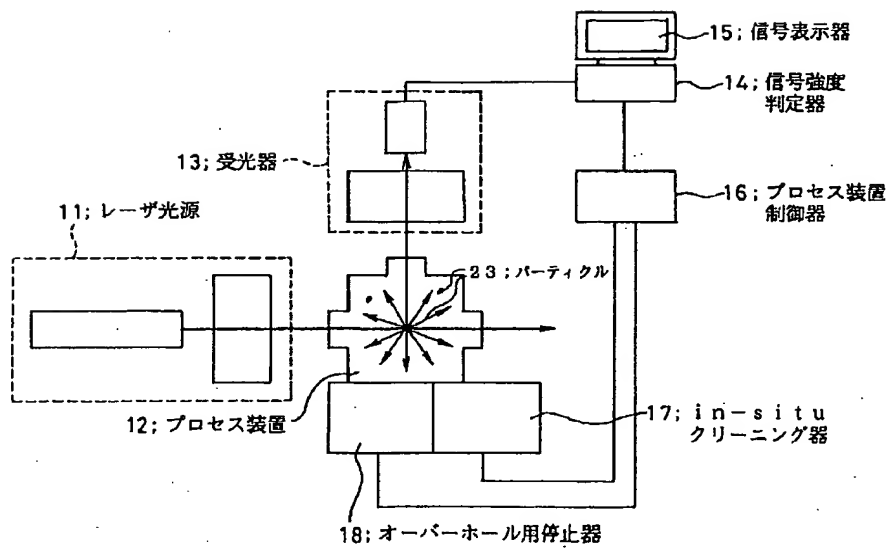
【図2】



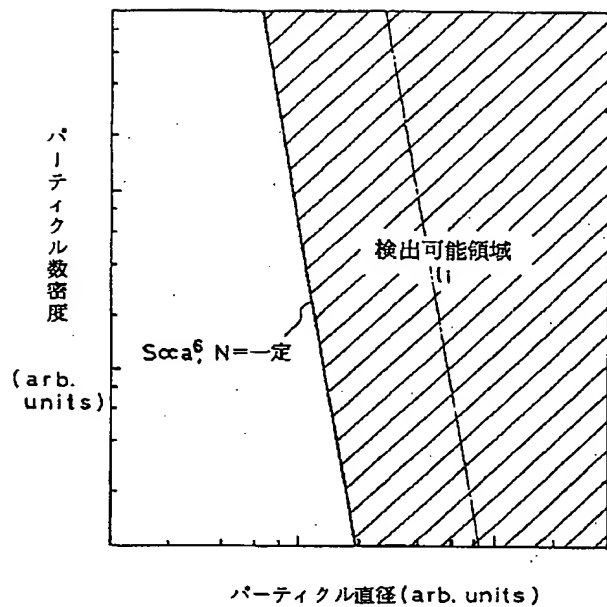
【図5】



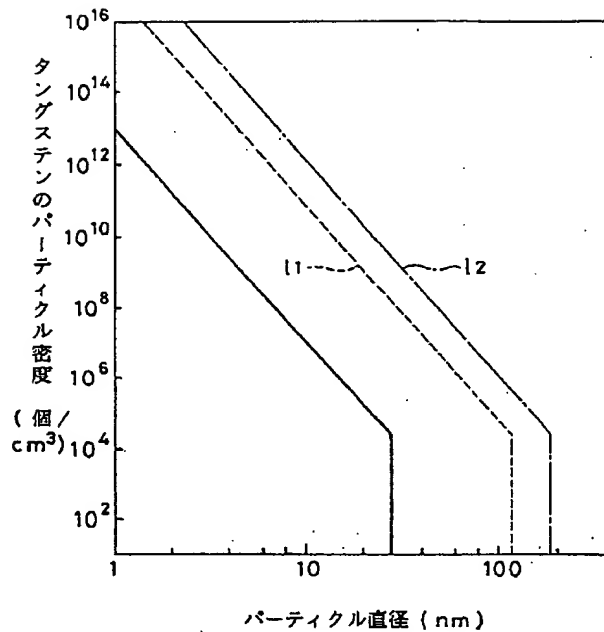
【図3】



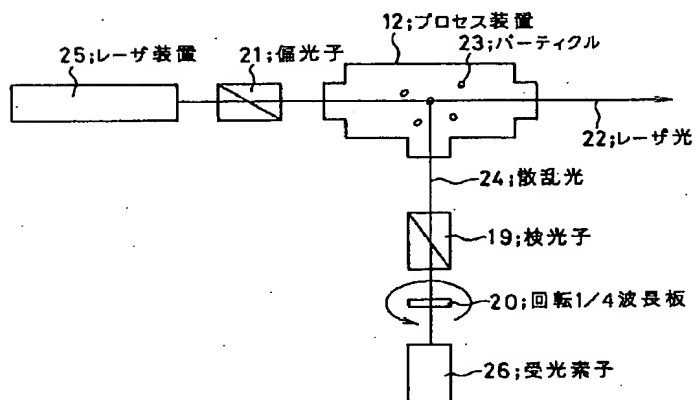
【図6】



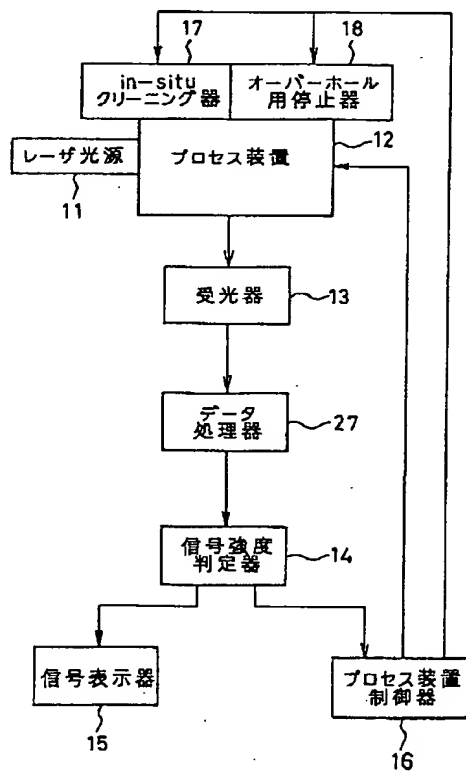
【図8】



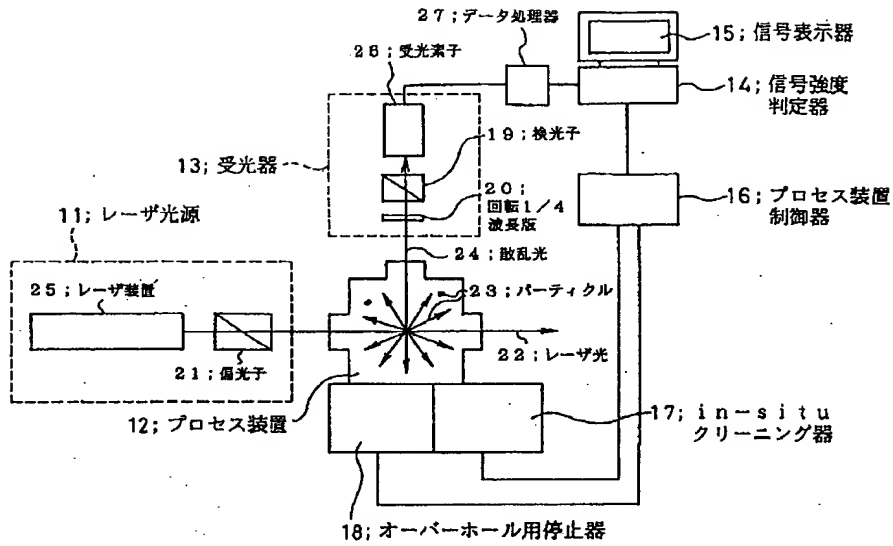
【図7】



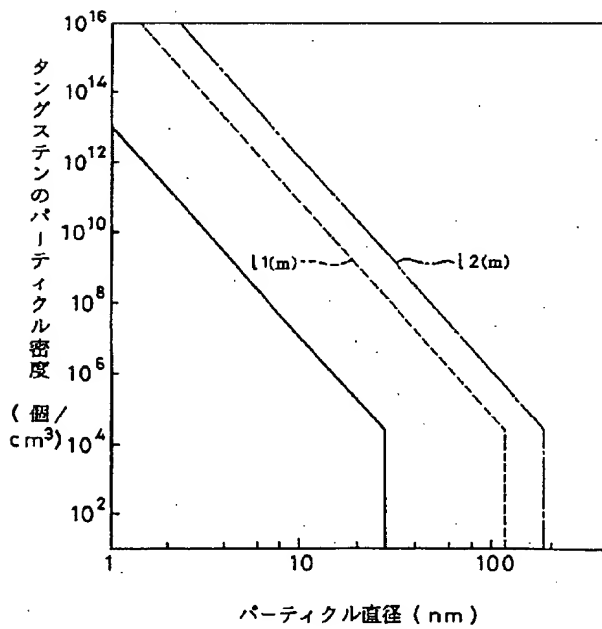
【図11】



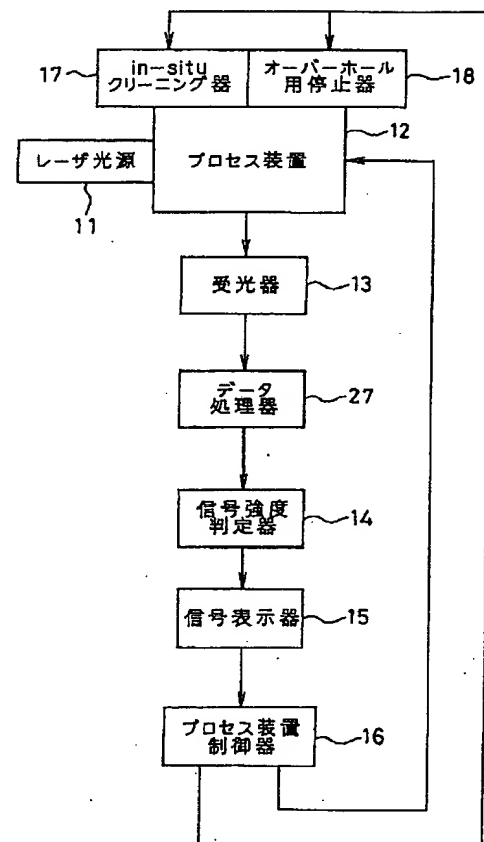
【図9】



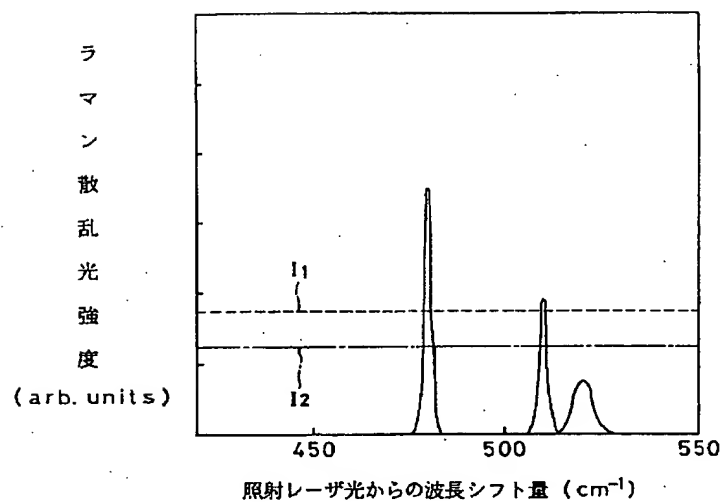
【図10】



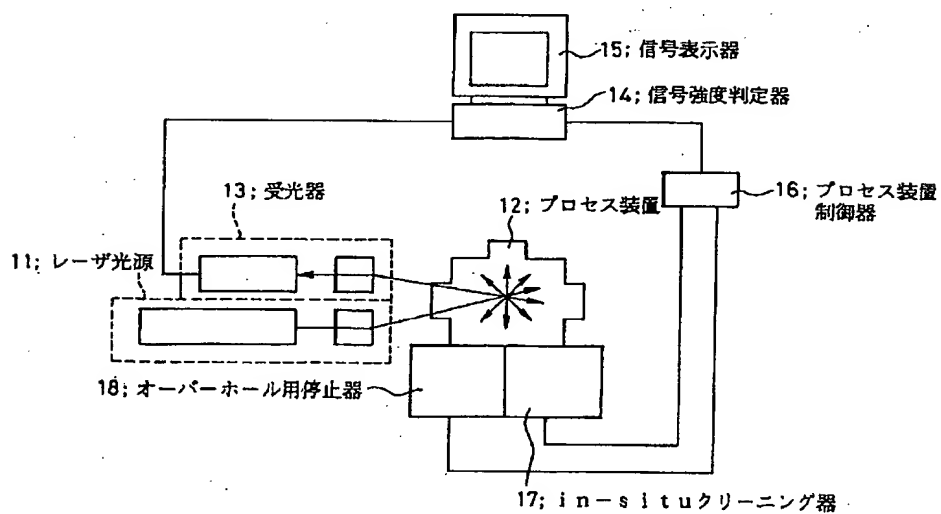
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

